

宇宙航空研究開発機構特別資料

JAXA Special Publication

回収衛星利用日中科学協カプロジェクト報告

夏井坂 誠, 栄 龍, 東端 晃,
山崎 丘, 石岡 憲昭, 高柳 昌弘

2006 年 3 月

宇宙航空研究開発機構

Japan Aerospace Exploration Agency

回収衛星利用日中科学協力プロジェクト報告

夏井坂 誠*¹, 栄 龍*¹, 東端 晃*¹,
山崎 丘*¹, 石岡 憲昭*¹, 高柳 昌弘*¹

Japan-China Science Cooperation Project with the Chinese Recovery Satellites

By

Makoto NATSUISAKA*¹, Long RONG*¹, Akira HIGASHIBATA*¹,
Takashi YAMAZAKI*¹, Noriaki ISHIOKA*¹, Masahiro TAKAYANAGI*¹

Abstract: “Japan-China Science Cooperation Project with the Chinese Recovery Satellites” is a science collaboration program in which researchers in Japan and China will perform science researches by using the Chinese recovery satellites launched by the Chinese rockets “CZ-2”. The first project, “*C. elegans* Flight Experiment in Chinese Free Flyer”, is planned to be flown in the fall of 2006 and is now preparing for the flight. This article summarizes the outline of the project and reports the current status of the first project.

Keywords: 宇宙実験, 宇宙生物学, 宇宙生命科学, 回収衛星, 線虫, 宇宙環境, 重力, 国際協力, 中国, Space Experiment, Space Biology, Space Life Science, Recovery Satellite, *C. elegans*, Space Environment, Gravity, International Cooperation, China

概 要

回収衛星利用日中科学協力プロジェクトは、長征で打ち上げられる中国の回収型人工衛星を利用して、日本と中国の研究者が協力して、科学研究を行うものである。第一回プロジェクトとして、「線虫 (*C. elegans*) を用いた宇宙環境ストレス影響の解明」研究の実施が予定されており、2006年秋のフライト実験に向けて準備作業を進めている。本報告では、回収衛星利用日中科学協力プロジェクトの概要ならびに第一回プロジェクトの現状を報告する。

1. はじめに

回収衛星利用日中科学協力プロジェクトは、長征で打ち上げられる中国の回収型人工衛星（以後「回収衛星」と略す）を利用して、日本と中国の研究者が協力して科学研究を行うものである。ISS 科学プロジェクト室*¹では、微小重力科学研究者へ、より多くの宇宙実験機会を提供するために、中国側から協力の呼びかけがあった2004年から、本協力の構築に向けた話し合いを行ってきた。その結果、2006年秋に打ち上げが予定されている回収衛星を利用して、第一回プロジェクトを行うことが可能となった。

本報告では、回収衛星利用日中科学協力プロジェクトの概要ならびに第一回プロジェクトの現状をまとめる。

* 1 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部 ISS 科学プロジェクト室
ISS Science Project Office, The Institute of Space and Astronautical Science (ISAS), Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)

2. 背景

2.1. 中国回収衛星について

中国は1975年以来20機の回収衛星を打ち上げ、うち19機の回収に成功している。

中国回収衛星は、長征に搭載されて甘粛省酒泉より打ち上げられる。打ち上げられた回収衛星は、Perigee 高度170～200 km, Apogee 高度350～400 km, 軌道傾斜角63～65°の低軌道を15日間周回（一周回約90分）した後、四川省成都郊外で回収される。回収衛星は、最大重量3,600 kg, 最大直径2.2 m, 高さ5.1 mの弾丸状で、回収部（容積0.45 m³, 重量約250 kg）と非回収部（容積0.9 m³, 重量約650 kg）に分けられる。

2.2. 中国における微小重力科学研究について

中国は、前項に述べた回収衛星を利用して、1987年以来10回におよぶ微小重力科学実験のためのフライトを企画し、1,000以上の実験を実施している。その大半は、宇宙材料科学実験と宇宙生物学実験に分けられ、前者として、5回におよぶGaAsの結晶成長実験、合金の凝固実験、超伝導材料製造など、40種の材料を用いて実験を行っており、また、後者として、ラットなど高等生物を使った実験、3度のたんぱく質結晶成長実験、農作物の種子を打ち上げて品種改良を行う実験などを行っている。

3. プロジェクト概要

3.1. 回収衛星利用日中科学協力プロジェクトの概要

回収衛星利用日中科学協力プロジェクトは、2004年4月に北京航空航天大学生物学講座の庄教授から、2006年をはじめに打ち上げが予定されている中国回収衛星を利用した宇宙実験を協力して実施しないかと打診されたことに端を発する。その内容は、中国側がフライトの余剰リソースを提供し、日本側が実験および実験装置を提供し、日本と中国の研究者が協力して科学研究を実施しようというものであった。

ISS科学プロジェクト室では、最後の小型ロケット実験が実施された1998年以降、後述のICE-Firstなどの隙間ミッションを除き、本格的な宇宙実験が行われていない現状を鑑み、本協力に向けた関係構築に努め、2006年の第一回プロジェクトの実施で合意した。

本協議の中で、回収衛星を利用した微小重力科学実験は二年に一度計画されていることが判明、現在、2008年、2010年のフライト協力も視野に入れ、協議を進めている。

3.2. 第一回プロジェクトの概要

第一回プロジェクトの合意を受け、宇宙環境利用科学委員会の研究班ワーキンググループに対して、利用調査を実施したところ、数十件の提案が寄せられた。この中から技術的およびコスト的に実現可能な数テーマについて中国側との利用・技術調整を重ねた。最終的に相手側より提供されるリソースが、調整開始時に比べて大幅減となる、総重量1.5 kg, 電力・通信系なしとなったために、実施可能なテーマは、次項に述べる「線虫 (*C. elegans*) を用いた宇宙環境ストレス影響の解明」のみとなった。

本テーマの協力相手方となるのは北京航空航天大学生物学講座である。北京航空航天大学は、1953年の設立以来、数多くの宇宙技術開発を手がけるとともに、優秀な人材を数多く輩出している。また、最近では、有人宇宙飛行船“神舟”の開発にも多大な貢献をしている。本学の生物学講座は、有人宇宙飛行の成功を受け、宇宙飛行士の宇宙長期滞在で問題となる生物学的、医学的課題を解決するために、2003年12月に中国初の宇宙生物学研究所として設立された組織である。

Fig. 1に協力の枠組みを示す。(CASTは衛星の打ち上げ、インテグレーションを行う中国国営企業。)

3.3. 線虫 (*C. elegans*) を用いた宇宙環境ストレス影響の解明研究

本研究は、宇宙環境利用科学委員会の“線虫 (*C. elegans*) を用いる回収衛星宇宙実験研究班WG”からの提案である。線虫をモデル生物に、微小重力などの宇宙環境ストレスが、生物にどのような影響をおよぼすかを解明する研究であり、宇宙飛行士の宇宙長期滞在などで問題となっている筋萎縮などの解決に貢献することを目的としている。

線虫は体長約1 mmの生物で、通常は土壤中に生息している。そのほとんどが雌雄同体であり、ごくまれに雄が存在する。体細胞の数は、わずか1,000個程度であるが、生殖系、筋肉系、神経系、消化系を完全に備えている。また、全細胞の系譜

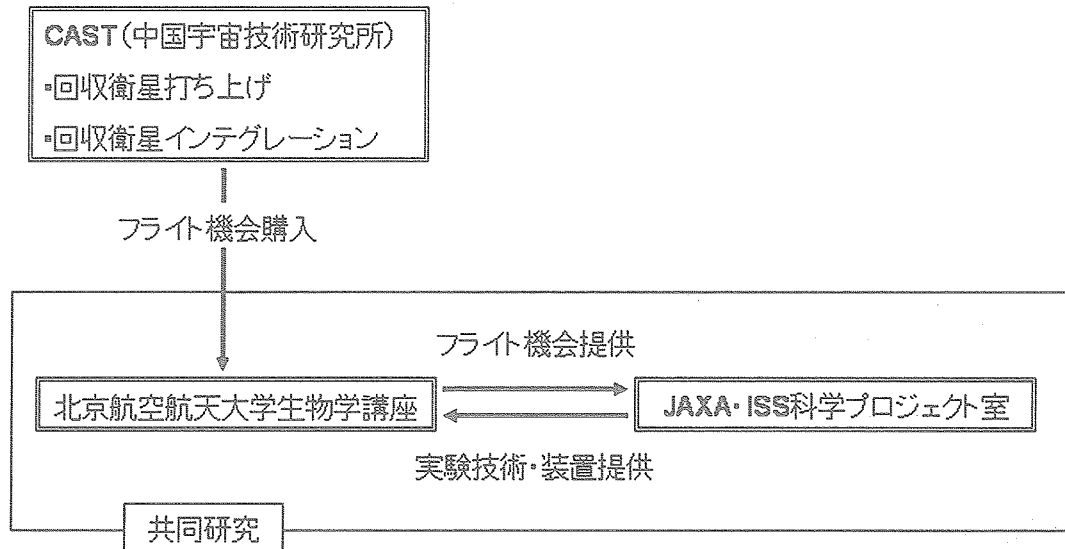
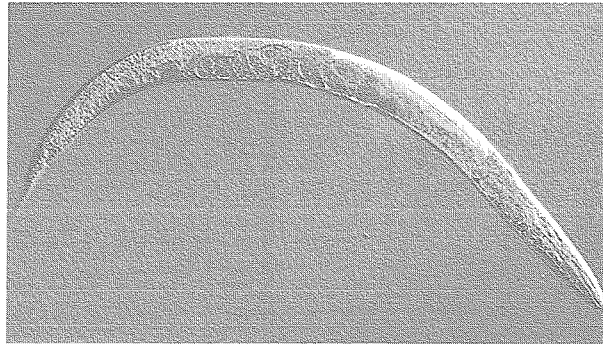


Fig.1 第一回プロジェクトの枠組み

Fig.2 線虫 (*C. elegans*)
写真提供 東北大学 東谷篤志 教授

や神経回路構造もすべて解明されており、全ゲノムの解読が終了している。このようなことから生命科学分野におけるモデル生物として盛んに利用されている。[1]

宇宙実験においても、2004年に、フランス国立宇宙研究センター（CNES: Centre National d'Etudes Spatiales）が中心となって、オランダ宇宙研究機関（SRON: Space Research Organization of the Netherlands）の支援の下実施された国際協力ミッション“ICE-First”においてすでにモデル生物として使用されている。本ミッションには、JAXAも、NASA、ESA、CNES、CSAらと参加し、線虫実験を実施した。その結果、筋関連タンパク質の代謝および発現が抑制されることが明らかとなった。[2]

今回のプロジェクトでは、ICE-firstで判明した上記の現象に対して、運動がどのような影響を与えるかを調べるために、運動能欠損株を搭載することとした。

4. フライト準備作業

4.1. 研究計画の詳細化作業

4.1.1. 研究班ワーキンググループにおける詳細化作業

研究班ワーキンググループにおいて、研究計画の詳細化作業として、搭載する線虫の種類、搭載方法、培養条件、輸送方法などを検討した。

搭載する線虫の種類は、ICE-first で判明した筋関連タンパク質の代謝および発現抑制に対して、運動がどのような影響を与えるかを調べるために、野生株に加え、以下の運動能欠損株を搭載することとした。

- 1) *C. elegans* Bristol N2 (野生株)
- 2) *C. elegans unc-51* (運動能欠損変異株)
- 3) *C. elegans unc-73* (運動能欠損変異株)

搭載方法については、ICE-first 同様、CeMM^{*2}などの液体培地とテフロン製細胞培養バッグ（AFC社製：1バッグに約4 mlの試料溶液が入る）を使用することとし、20バッグ前後を搭載する予定である。

培養条件の検討作業として、種々の温度における培養の可否を検討した。中国側から提示された過去二回の計測データによると、回収衛星内の温度は、28°Cから14°Cの範囲で変化することがわかった（最高温度28°Cとなるのは3日以内）。そこで、20°C培養をコントロールとして、30°C、25°C、15°C、および10°Cでそれぞれ3日間線虫を培養し状態を観察した。10°Cでは多少動きが鈍くなり増殖も低下するが、いずれの温度でも培養状態は良好であった。特に、容器内が30°C以上となった場合、線虫の死滅が懸念されていたが、30°C以上の温度となっても、3日程度であれば十分生存・増殖可能であることが確認できた。

輸送方法の検討結果は、4.3項に述べる運用計画作成作業へ反映されている。

4.1.2. 中国側との共同研究

共同研究の相手方となる北京航空航天大学生物学講座の研究者と、中国および日本において、共同研究に係わる情報交換を実施した。相手方講座には、多くの優秀な生物学研究者が所属し、また、宇宙実験の経験もあるが、線虫培養や分子生物学的手法に関する経験はなかったため、相手方研究者が本年2月に来日、線虫の培養方法、分子生物学的手法などを習得した。打ち上げまでに、さらに情報交換を行い、共同研究内容の詳細化を図る予定である。

4.2. 装置開発

4.2.1. 開発要求

実験装置の開発にあたっては、実験側からの要求および衛星側からの制約を満足すべく設計を行った。

実験側からは、①ミッション期間を通じて空気を保持できること、②150 cc程度の線虫試料を搭載して、その3倍以上の空気を保持できること、③温度が15～25°Cの範囲にあること、④温度、酸素濃度、宇宙放射線が測定できること、が要求された。

衛星側からは、①機械的インターフェースとして、直径180 mm、高さ230 mmの円筒状エンベロープに収まること、②重量が1.5 kg以下、③排熱が10 W以下であること、などが要求された。

軌道上の衛星内環境については、ほとんど計測データがない模様であるが、温度環境については過去2回のミッションの計測データが提示され、温度の変動範囲が14°C～28°Cであることが判明した。（衛星は、積極的に温度制御を行わないので、実験装置は、周回に伴う90分周期の小さな温度変動と、周回軌道の変化に由来する数日単位の大きな温度変動を経験する。）また、実験装置を搭載する回収部は気密構造となっていないため、軌道上では装置外は真空となる。

さらに、衛星側から、環境試験として、モーダルサーベイ、ランダム振動、衝撃試験、旋回腕を利用した静荷重試験、バースト試験などを実施することが要求された。

4.2.2. 設計

上記の要求を満足するために、Fig. 3のような気密容器を設計した。軌道上で真空となる容器外部に対して、内部に1気圧の空気を450 cc以上保持しなければならないので、差圧2気圧に対してもシールを保持できるドーム状容器とした。また、全重量を1.5 kg以下に抑えなければならないので、容器のカバーには軽量化のため、CFRP（炭素繊維強化プラスチック）を採用した。本軽量化の結果、調整当初割り当てられた重量、容積を削られたにもかかわらず、調整当初要求のあった量の試料が搭載可能となった。さらに、線虫バッグだけでなく、飼育環境を記録するための温度ロガー、酸素濃度ロガー、宇宙放射線検出素子、打ち上げ、再突入時の振動環境を計測・記録するための衝撃加速度ロガー、シールの健全性を確認するための圧力ロガーなども搭載することが可能となり、これまでほとんどデータの無かった軌道上環境の取得が可能となった。

* 2 *C. elegans* Maintenance Medium : NASAが開発した線虫用液体培地。通常の寒天培地で問題となる表面張力の影響を回避するために開発された。

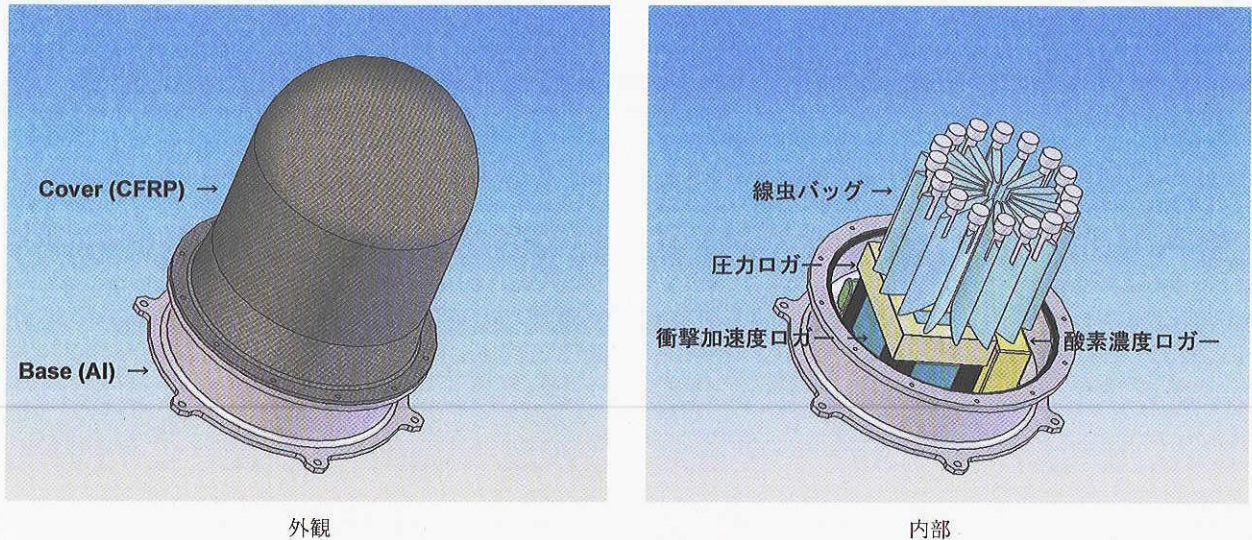


Fig. 3 線虫実験装置
(宇宙放射線検出素子, 温度ロガーも搭載の予定)

4.2.3. 検証

すでに述べた通り, 衛星側から環境試験として, モーダルサーベイ, ランダム振動, 衝撃試験, 旋回腕を利用した静荷重試験, バースト試験の実施を求められている. そこで, エンジニアリングモデルを作製し, QT レベルの試験を実施する予定である. (衛星との組み合わせ試験に使用する構造モデルを中国側に提出済み) また, 容器シールの健全性確認, 容器内部の温度分布の測定なども実施する予定である.

4.3. 運用計画作成

線虫実験には, 生物試料の輸送, 射場での線虫の峻別・バッグ詰, レイトアクセス, 回収後の凍結作業, 日本への輸送など, 特殊な運用作業が伴う. このため, これら作業手順の詳細化を行うとともに, 輸出入に必要となる手続き, 航空会社や通関との調整を実施し, さらに, 打ち上げ前に運用リハーサルを実施する予定である. また, 北京航空航天大学より, 運用, 地上支援設備の調達などに関しても協力の申し出があり, 協議を進めている.

5. 今後の予定

今後4月~5月にかけて環境試験を実施し, 8月に運用リハーサルを実施, 9月に打ち上げ, およそ2週間のフライトの後, 回収され, およそ一年をかけて飛行後解析を実施する予定である.

6. まとめ

ISS 科学プロジェクト室では, 微小重力科学研究者に広く宇宙実験機会を提供すべく, 中国回収衛星を利用した日中科学協力の構築に努めてきた. その結果, 第一回プロジェクトとして「線虫 (*C. elegans*) を用いた宇宙環境ストレス影響の解明研究」を, 2006 年秋に実施することが可能となった. 本プロジェクトは生物の微小重力応答を最先端の分子生物学的手法を用いて解明するものであり, 宇宙飛行士の筋萎縮問題の解決に貢献する可能性を秘めている. さらに, 本プロジェクトは, 2006 年に続く宇宙実験機会 (2008 年, 2010 年) も視野に入れたもので, 第二回, 第三回プロジェクトの実施が期待される.

References

- [1] Edited by D. L. Riddle, T. Blumenthal, B. J. Meyer, and J. R. Priess, "*C. elegans* II", CSHL Press, 1997.
- [2] 東端 晃, 藤本 信義, 栗山 可奈, 石岡 憲昭, "線虫国際共同実験 (ICE-First)", 日本マイクロ重力応用学会誌, Vol. 22, No. 3, 144-150, 2005.

宇宙航空研究開発機構特別資料 JAXA-SP-05-023

発行 平成 18 年 3 月 17 日

編集・発行 宇宙航空研究開発機構

〒182-8522 東京都調布市深大寺東町 7-44-1

URL : <http://www.jaxa.jp/>

印刷・製本 (株) 東京プレス

本書及び内容についてのお問い合わせは、下記にお願いいたします。

宇宙航空研究開発機構 情報システム部 研究開発情報センター

〒305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1

TEL : 029-868-2079 FAX : 029-868-2956

© 2006 宇宙航空研究開発機構

※ 本書の一部または全部を無断複写・転載・電子媒体等に加工することを禁じます。



本書は再生紙を使用しております。

This document is provided by JAXA.